

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER D'S
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G06K 9/66, G07C 9/00		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/50880
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01051		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. November 1998 (12.11.98)	
(22) Internationales Anmeldedatum: 14. April 1998 (14.04.98)		(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(30) Prioritätsdaten: 197 19 469.9 7. Mai 1997 (07.05.97) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).			
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WIRTZ, Brigitte [DE/DE]; Erikamerstrasse 3, D-83607 Holzkirchen (DE).			

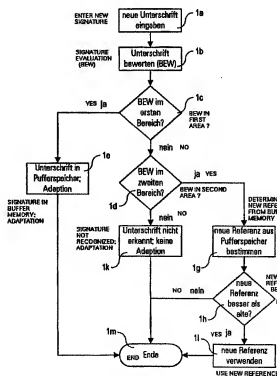
(54) Title: COMPUTER-CONTROLLED ADAPTATION OF REFERENCE DATA BY MEANS OF INPUT DATA
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ANPASSUNG EINES REFERENZDATENSATZES ANHAND MINDESTENS EINES EINGABEDATENSATZES DURCH EINEN RECHNER

(57) Abstract

The invention pertains to a method for preventing denial increase within the context of signature authentication as a result of changes occurring naturally in the signature of an individual. The "natural" changes appearing in a signature are adapted to a reference signature, a deviation from any bogus signature being duly kept to prevent adaptation from getting too close to a possible counterfeiter. To this end, the signature is assessed taking into account such a deviation from the reference signature, and the assessment measurements are divided into areas which reflect the signature quality, depending on which an adaptation of the signature will be deemed necessary or not.

(57) Zusammenfassung

Mit dem Verfahren wird gewährleistet, daß sich natürliche Veränderungen in der Unterschrift einer Person, im Rahmen einer Authentisierung dieser Person durch ihre Unterschrift, nicht in Form steigender Zurückweisungen niederschlagen. "Natürliche" Veränderungen in der Unterschrift der Person werden an eine Referenzunterschrift angepaßt, wobei ein gebührender "Abstand" zu einer möglichen gefälschten Unterschrift eingehalten wird, um nicht in Richtung eines potentiellen Fälschers zu adaptieren. Dazu wird die Unterschrift abbildung von ihrem Abstand zur Referenzunterschrift bewertet und dieses Bewertungsmaß in Bereiche aufgeteilt, die die Qualität der Unterschrift reflektieren. Es wird ausgehend von der Güte eine Beurteilung möglich, ob eine Adaptation durchgeführt wird oder nicht.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MV	Mosgolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritänien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung

Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner.

- 10 Bekannte Verfahren zur Verifikation des Teilnehmers, z.B. durch Eingabe eines Paßworts oder mittels einer Chipkarte, beruhen darauf, daß der Teilnehmer über nur ihm bekanntes Wissen verfügt (Paßwort) oder nur er das entsprechende Medium für die Gewährung des Zugangs (Chipkarte) besitzt.

15

Alternativ dazu bedient sich die Biometrie einer physiologischen oder einer verhaltenstypischen Eigentümlichkeit des Teilnehmers bei der automatischen Identitätsverifikation oder generell zur Authentifikation.

20

Physiologische Verfahren bedienen sich dabei menschlicher Eigentümlichkeit, die sich im Normalfall nicht oder nur wenig ändert. Entsprechende Merkmale weisen die Vorteile auf, daß sie nicht gestohlen und nur mit großer Mühe kopiert werden
25 können.

Eine Unterschriftsverifikation ist ein biometrisches Verfahren. Dabei wird eine in einen Rechner eingegebene Unterschrift verarbeitet, unabhängig vom Textinhalt, mit dem
30 Ziel, die Authentizität des Schreibers entweder zu bestätigen oder zu verneinen.

Aus [1] ist bekannt, eine Unterschrift mittels eines elektromagnetischen Tablett in elektronischer Form zu
35 erhalten. Eine derartige (elektronische) Unterschrift umfaßt mehrere Kenngrößen, z.B. Koordinateninformation, Druck und Geschwindigkeit jeweils zu diskreten Abtastzeitpunkten.

Eine Verifikation eines Eingabedatensatzes beruht auf einem Vergleich mit einem Referenzdatensatz. Im Fall einer Unterschriftsverifikation handelt es sich bei dem
5 Referenzdatensatz um eine elektronische Unterschrift, im weiteren als "Referenzunterschrift" bezeichnet; der Eingabedatensatz ist eine aktuell angeforderte, beispielsweise mittels eines elektronischen Tablett eingegabene Unterschrift.

10 Es ist allgemein bekannt, daß von Hand geschriebene Unterschriften derselben Person einander nicht exakt gleichen. Außerdem können sich wesentliche Merkmale der Unterschrift einer Person mit der Zeit ändern.

15 Aus [2] ist ein Verfahren zur Referenzdatenadaption bekannt. Allerdings ist dabei eine Gefahr der Fälscheradaption hoch.

20 Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, Referenzdaten, die über die Zeit einer Veränderung unterliegen, automatisch dieser Veränderung anzupassen ohne dabei einer Fälscheradaption zu unterliegen.

25 Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Die Erfindung gibt ein Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner an. Dazu wird zunächst
30 für den mindestens einen Eingabedatensatz ein Bewertungsmaß bestimmt, das eine Übereinstimmung mit dem einen Referenzdatensatz kennzeichnet. Wenn das Bewertungsmaß innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs liegt, wird der Eingabedatensatz in einen Pufferspeicher eingetragen und ein
35 neuer Referenzdatensatz ermittelt. Liegt das Bewertungsmaß innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs, so wird ein nächster Referenzdatensatz aus den Datensätzen des

Pufferspeichers ermittelt. Ist der nächste Referenzdatensatz "besser" als der (alte) Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz anstelle des (alten) Referenzdatensatzes verwendet. Ist der nächste

5 Referenzdatensatz hingegen "schlechter" als der (alte) Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz verworfen. Liegt das Bewertungsmaß innerhalb eines dritten Bereichs, so bleibt der Referenzdatensatz unverändert bestehen.

10

Dabei ist ein erster Datensatz "besser" als ein zweiter Datensatz, wenn ein durch ein Bewertungsmaß definierter Abstand des ersten Datensatzes zu dem Referenzdatensatz kürzer (also besser mit dem Referenzdatensatz übereinstimmt)

15 als der Abstand von dem zweiten Datensatz zu dem Referenzdatensatz ist. Analog dazu ist dann der zweite Datensatz "schlechter" als der erste Datensatz.

20

Vorzugsweise wird der Referenzdatensatz bestimmt, indem vorgebbare Kenngrößen einer vorgebbaren Anzahl an Datensätzen gemittelt werden. Dabei gibt es, wie aus [1] bekannt ist, zu jedem Abtastzeitpunkt einen Datensatz (Vektor), der die Kenngrößen für diesen Abtastzeitpunkt enthält. Unter Berücksichtigung aller oder eines Teils dieser Kenngrößen

25 wird ein Referenzdatensatz durch Mittelung der Werte ermittelt.

30

Dazu alternativ kann der Referenzdatensatz aus einer Menge von Originaldatensätzen, also Datensätzen, bei denen sichergestellt ist, daß sie vom autorisierten Teilnehmer stammen, ausgewählt werden, der in dem durch die Kenngrößen bestimmten Merkmalsraum die beste Beschreibung der Originaldatensätze darstellt.

35

Diese beiden Möglichkeiten sind ohne Einschränkung lediglich zwei Alternativen zur Referenzdatensatzbestimmung. Es sind

vielerlei andere Möglichkeiten denkbar, die in der Erfindung ebenso Verwendung finden können.

5 Eine Weiterbildung des Pufferspeichers ist ein Ringpuffer, der eine vorgebbare Anzahl an Datensätzen enthält. Ein Ringpuffer zeichnet sich dadurch aus, daß darin der älteste Datensatz gelöscht wird, sobald ein neuer Datensatz hinzugefügt wird. Dies gilt natürlich unter der Voraussetzung, daß der Ringpuffer voll ist, da ansonsten der
10 neue Datensatz einfach hinzugefügt wird.

Eine nächste Weiterbildung der Erfindung besteht darin, den Eingabedatensatz als einen Originaldatensatz zu verifizieren, falls das Bewertungsmaß innerhalb des ersten Bereichs oder
15 des zweiten Bereichs liegt. Liegt das Bewertungsmaß für den Eingabedatensatz außerhalb des ersten oder des zweiten Bereichs, so ist eine Verifikation des Eingabedatensatzes zu verneinen; der Eingabedatensatz wird als eine Fälschung betrachtet.

20 Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß Originaldatensätze gemäß einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Eine derartige Wahrscheinlichkeitsverteilung kann eine Normalverteilung mit
25 einem Erwartungswert und einer Standardabweichung sein.

Ferner ist im Rahmen einer zusätzlichen Weiterbildung der Referenzdatensatz durch den Erwartungswert der Originaldatensätze bestimmt.

30 Schließlich kann eine Unterteilung der einzelnen Bereiche durch folgende Notation bestimmt sein:

Erster Bereich: $BEW \in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma],$

35 Zweiter Bereich: $BEW \in [\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \mu + \alpha_2 \cdot \sigma],$

5

Dritter Bereich: $BEW \in [\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \infty]$,

wobei

- BEW das Bewertungsmaß,
- μ den Erwartungswert,
- 5 σ die Standardabweichung,
- α_1 einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere
Schranke des ersten Bereichs bestimmt wird,
- α_2 einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere
Schranke des zweiten Bereichs bestimmt wird,
- 10 bezeichnen.

- Auch ist es möglich zusätzlich den Wertebereich des
Bewertungsmaßes in einen vierten Bereich zu unterteilen, der
zwischen dem zweiten und dem dritten Bereich liegt und
15 mittels vorgebbarer Schwellen bestimmt ist. In diesem Bereich
können Originaldatensätze liegen, die als solche erkannt
werden, ohne daß der Referenzdatensatz verändert wird.

- Im Rahmen einer Anwendung der Erfindung kann es sich bei den
20 erwähnten Datensätzen um Unterschriften handeln, die
elektronisch aufgenommen und abgespeichert werden und die
eine vorgebbare Menge von Kenngrößen umfassen (siehe auch
Beschreibungseinleitung).

- 25 Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den
abhängigen Ansprüchen.

- Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand
der Zeichnungen dargestellt und erläutert.

30

Es zeigen

- Fig.1 ein Blockdiagramm, das Schritte eines Verfahrens zur Anpassung mindestens eines Referenzdatensatzes anhand mindestens eines Eingabedatensatzes enthält,
- 5 Fig.2 eine Skizze, die unterschiedliche Bereiche in einem Bewertungsraum zur Verifikation einer Unterschrift zeigt,
- Fig.3 eine Skizze, die aufbauend auf Fig.2 einen zusätzlichen Bereich innerhalb des Bewertungsraums zeigt.
- 10

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel, das sich mit der Anwendung "Unterschriftsverifikation" befaßt, dargestellt.

- 15 Bevor ein Teilnehmer mittels seiner Unterschrift elektronisch verifiziert werden kann, wird aus einer Reihe von Unterschriften eine Referenzunterschrift (Referenzdatensatz) ermittelt. Dies geschieht durch eines der oben erwähnten Verfahren zur Referenzdatensatzbestimmung. Dabei wird aus
- 20 mehreren geleisteten Unterschriften, die nachweislich vom Teilnehmer selbst stammen (authentische Unterschriften), eine Referenzunterschrift ermittelt.

- Die mittels Referenzdatensatzbestimmung eingangs gefundene
- 25 Referenzunterschrift basiert auf den Originaldatensätzen, die der Teilnehmer zum Anlegen des Referenzdatensatzes gemacht hat. Diese Originaldatensätze (Unterschriften) sind sich ähnlicher als eine Unterschrift, die zu einem späteren Zeitpunkt von diesem Teilnehmer abgegeben wird. Weiterhin
- 30 unterliegt eine Unterschrift einer langfristigen Veränderung bedingt durch das Schreibverhalten des Teilnehmers. Demzufolge wird ein authentischer Teilnehmer, wenn sich seine Unterschrift beispielsweise über Jahre verändert hat, mit einer wachsenden Zurückweisungsrate rechnen müssen, bis er
- 35 schließlich von dem System eines Tages überhaupt nicht mehr als autorisierter Teilnehmer erkannt wird, falls keine wie in dieser Erfindung beschriebene Anpassung an die "natürliche"

Veränderung in der Unterschrift des Teilnehmers stattgefunden hat.

Die Lösung besteht, wie oben erwähnt, darin, daß einer
5 schleichenden Veränderung der Unterschrift durch Anpassung der Referenzunterschrift begegnet wird. Dabei entsteht ein Problem der Fälscheradaption, d.h. es muß sichergestellt sein, daß eine Anpassung nicht auf die Eigenheiten einer Unterschrift eines potentiellen Fälschers hin adaptiert wird.

10

Die Erfindung stellt ein Verfahren zur Adaption der Referenzunterschrift vor, das sicherheitsrelevante Kriterien berücksichtigt und Veränderungen im Unterschriftenverhalten des Originalteilnehmers kompensiert.

15

FIGUR 1:

In Fig.1 werden anhand eines Blockdiagramms Schritte des Verfahrens zur Adaption der Referenzunterschrift (Referenzdatensatz) dargestellt. Vorausgesetzt wird, daß, wie
20 oben ausführlich dargelegt ist, eine Referenzunterschrift aus einer Menge von Originaldatensätzen ermittelt wurde (Referenzdatensatzbestimmung).

In einem Schritt 1a wird ein neuer Eingabedatensatz
25 hinzugefügt, d.h. eine Unterschrift wird geleistet und elektronisch erfaßt. Im Schritt 1b wird die elektronische Unterschrift bewertet. Hierzu wird mittels eines geeigneten Verfahrens ein Abstand zur Referenzunterschrift bestimmt und als ein Bewertungsmaß BEW gespeichert. Liegt das
30 Bewertungsmaß BEW in einem ersten Bereich, nachfolgend als Aktualisierungsbereich bezeichnet, so wird die Unterschrift verifiziert und in einen Pufferspeicher eingetragen.

Der Pufferspeicher ist vorzugsweise ein Ringpuffer, d.h. er
35 verfügt über eine vorgebbare Anzahl an freien Speicherplätzen, wobei, wenn alle Speicherplätze im Ringpuffer belegt sind, mit dem Hinzufügen eines neuen

Datensatzes in den Ringpuffer der älteste Datensatz gelöscht wird. Sind nicht alle Speicherplätze des Ringpuffers belegt, so entfällt das Löschen eines Datensatzes, der neue Datensatz wird nur in den Ringpuffer eingefügt.

5

Im Schritt 1e wird die Unterschrift in den Pufferspeicher eingetragen und der Referenzdatensatz angepaßt. Dabei wird erreicht, daß eine Unterschrift (Eingabedatensatz), die in dem Aktualisierungsbereich, also mit einem vorgebbaren

10 Abstand zu einer Fälschung, liegt, eine Adaption einleitet. "Gute" Unterschriften werden zu einer "natürlichen" Veränderung der Unterschrift des autorisierten Teilnehmers herangezogen. Diese Anpassung der Referenzunterschrift wird nachfolgend näher erläutert:

15

Generell besteht eine Referenzunterschrift aus vielen Unterschriften, wobei die Referenzunterschrift eine Gewichtung entsprechend der Anzahl der ihr zugrundeliegenden Unterschriften enthält. Wurde eine Referenzunterschrift U_{ref}

20 beispielsweise aus 10 Unterschriften gewonnen und kommt eine weitere Unterschrift U hinzu, so findet eine Anpassung zu einer neuen Referenzunterschrift $U_{ref,neu}$ derart statt, daß gilt:

$$25 \quad U_{ref,neu} = \frac{10}{11} U_{ref} + \frac{1}{11} U \quad (1).$$

Entscheidend dabei ist die Gewichtung der (alten) Referenzunterschrift, die der Anzahl (hier 10) der ihr zugrundeliegenden Originalunterschriften entspricht. Wird

30 eine weitere Anpassung der neuen Referenzunterschrift $U_{ref,neu}$ in eine weitere Referenzunterschrift $U'_{ref,neu}$ vorgenommen mittels einer weiteren Originalunterschrift U' , so gilt analog zu Gleichung (1):

$$35 \quad U'_{ref,neu} = \frac{11}{12} U_{ref,neu} + \frac{1}{12} U' \quad (2).$$

- So setzt sich die Anpassung immer weiter fort, wobei das Gewicht der neu hinzukommenden Unterschrift U_i' immer weiter abnimmt (vergleiche U mit U'). Abhilfe schafft hier eine
- 5 Schwelle SW , die eine vorgegbares Mindestgewicht jeder hinzukommenden Unterschrift U_i' gewährleistet:

$$U_{ref,i}' = \frac{SW - 1}{SW} U_{ref,i} + \frac{1}{SW} U_i' \quad (3).$$

- 10 Liegt das Bewertungsmaß in einem zweiten Bereich (siehe Schritt 1c), fortan als Referenzbildungsbereich bezeichnet, wird eine nächste Referenzunterschrift gemäß dem Verfahren zur Referenzdatensatzbestimmung gebildet (Schritt 1g), wobei dazu die Datensätze des Pufferspeichers verwendet werden, und
- 15 dieser nächste Referenzdatensatz mit dem (alten) Referenzdatensatz verglichen (Schritt 1h). Ist der nächste Referenzdatensatz besser als der alte Referenzdatensatz, so wird der nächste Referenzdatensatz verwendet, der (alte) Referenzdatensatz wird verworfen (Schritt 1i).
- 20 Ist der nächste Referenzdatensatz nicht besser als der (alte) Referenzdatensatz (Schritt 1h), so wird keine weitere Anpassung vorgenommen. Der (alte) Referenzdatensatz bleibt bestehen.
- 25 Liegt das Bewertungsmaß nicht innerhalb des Referenzbildungsbereichs, so wird im Schritt 1k die Unterschrift nicht verifiziert, es findet natürlich auch keinerlei Adaption eines Referenzdatensatzes statt. In diesem
- 30 Fall wird der Teilnehmer nicht verifiziert, sei es, daß er eine schlechte Unterschrift abgegeben hat, oder sei es, daß es sich um eine Fälschung handelt.

- Der Vollständigkeit halber ist in Fig.1 ein Endzustand 1m angegeben, der anzeigt, daß das dargestellte Verfahren dort
- 35

10

terminiert. Die verschiedenen Äste im Blockdiagramm von Fig.1 enden alle in diesem Endzustand 1m.

FIGUR 2:

5 In Fig.2 sind in einem zweidimensionalen Diagramm eine Anzahl der Unterschriften AU auf der Ordinate und das Bewertungsmaß BEW auf der Abszisse angetragen. Die Originaldatensätze sind nach einer Wahrscheinlichkeitsverteilung angenommen (Normalverteilung).

10

Die Verteilung der Originaldatensätze ist bestimmt durch den Erwartungswert μ . Die oben beschriebenen drei Bereiche werden hier veranschaulicht, wobei gilt:

15

erster Bereich = Aktualisierungsbereich AB
mit $BEW \in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma]$,

zweiter Bereich = Referenzbildungsbereich RBB
mit $BEW \in [\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \mu + \alpha_2 \cdot \sigma]$,

20

dritter Bereich = Fälschungsbereich FB
mit $BEW \in [\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \dots]$.

25 Im Aktualisierungsbereich AB liegende Eingabedaten führen zu einer Adaption (erneute Referenzdatensatzbestimmung), während bei Eingabedaten aus dem Referenzbildungsbereich zuerst überprüft wird, ob dadurch in die "richtige" Richtung, also hin zu den Originaldatensätzen und nicht zu den Fälschungen adaptiert wird, ehe eine Referenzdatensatzbestimmung
30 initiiert wird.

Der Aktualisierungsbereich AB dient zum Abfangen langsamer Veränderung in der Unterschrift eines autorisierten Teilnehmers, während im Referenzbildungsbereich RBB stärkere

35

Schwankungen (Veränderungen) in der Unterschrift berücksichtigt werden. Da der Pufferspeicher nur

Unterschriften aus dem Aktualisierungsbereichs enthält, wird eine Adaption zum Fälscher hin deutlich erschwert.

Die vorgebbaren Parameter α_1 und α_2 werden derart angegeben,

- 5 daß zum einen keine Fälschungen in die laufende Adaption gelangen (abhängig von α_1) und zum anderen die Gleichfehlerrate zwischen Originalen und Fälschungen möglichst klein wird (abhängig von α_2).

10 FIGUR 3:

In Fig.3 wird zusätzlich zu Fig.2 und den dort eingeführten Bezeichnungen ein vierter Bereich (Erkennungsbereich EB) dargestellt. Bei Unterschriften, deren Bewertungsmaß in diesem Bereich liegt, handelt es sich noch um

- 15 Originalunterschriften, es wird aber keine Referenzbildung evaluiert (wie im Referenzbildungsbereich RBB) und auch keine Anpassung (wie im Aktualisierungsbereich AB) vorgenommen. Die Unterschrift wird verifiziert, die vorhandene Referenzunterschrift erfährt keine Veränderung.

20

Im Rahmen dieses Dokuments wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] Deutsche Patentschrift 195 11 470.1-53
- [2] T.K.Worthington, T.J.Chainer, J.D.Williford,
5 S.C.Gunderen: IBM Dynamic Signature Verification,
Computer Society, IFIP 1985, S.129-154.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anpassung eines Referenzdatensatzes anhand
mindestens eines Eingabedatensatzes durch einen Rechner,
 - 5 a) bei dem für den (mindestens einen) Eingabedatensatz
ein Bewertungsmaß (BEW) bestimmt wird hinsichtlich
einer Übereinstimmung mit dem mindestens einen
Referenzdatensatz,
 - 10 b) bei dem, wenn das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb eines
vorgegebenen ersten Bereichs (AB) liegt, der
Eingabedatensatz in einen Pufferspeicher eingetragen
wird und ein neuer Referenzdatensatz ermittelt wird,
 - c) bei dem, wenn das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb eines
vorgegebenen zweiten Bereichs (RBB) liegt, ein
15 nächster Referenzdatensatz aus den Datensätzen aus dem
Pufferspeicher ermittelt wird und,
falls der nächste Referenzdatensatz besser als der
(alte) Referenzdatensatz ist, der nächste
Referenzdatensatz verwendet und der (alte)
20 Referenzdatensatz verworfen wird,
ansonsten, falls der nächste Referenzdatensatz
schlechter als der (alte) Referenzdatensatz ist, wird
der nächste Referenzdatensatz verworfen,
 - 25 d) bei dem ansonsten der Referenzdatensatz nicht
verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem der Referenzdatensatz bestimmt wird, indem
vorgebbare Kenngrößen einer vorgebbaren Anzahl von
30 Datensätzen gemittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem der Datensatz als Referenzdatensatz aus einer
vorgebbaren Anzahl Datensätze ausgewählt wird, dessen
35 Kenngrößen die ausgewählten Datensätze am besten
beschreiben.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem der Pufferspeicher ein Ringpuffer mit einer
vorgebbaren Anzahl Datensätze ist.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem der Eingabedatensatz ein Originaldatensatz ist,
falls das Bewertungsmaß (BEW) innerhalb des ersten oder
zweiten Bereichs liegt, oder eine Fälschung ist, falls
das Bewertungsmaß (BEW) außerhalb des ersten oder zweiten
10 Bereichs liegt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem Originaldatensätze nach einer
Wahrscheinlichkeitsverteilung verteilt sind.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 6,
bei dem die Wahrscheinlichkeitsverteilung eine
Normalverteilung mit einem Erwartungswert und einer
Standardabweichung ist.
- 20 8. Verfahren nach Anspruch 7,
bei dem der Referenzdatensatz dem Erwartungswert der
Originaldatensätze entspricht.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,
bei dem der erste Bereich bestimmt wird durch das
Intervall

$$\text{BEW} \in [0; \mu + \alpha_1 \cdot \sigma],$$

30

wobei

BEW das Bewertungsmaß,

 μ den Erwartungswert, σ die Standardabweichung,

35

α_1 einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere
Schranke des ersten Bereichs bestimmt wird,
bezeichnen,

und bei dem
der zweite Bereich bestimmt wird durch das Intervall

5
$$\text{BEW} \in [\mu + \alpha_1 \cdot \sigma; \mu + \alpha_2 \cdot \sigma],$$

wobei

α_2 einen vorgebbaren Parameter, mit dem eine obere
Schranke des zweiten Bereichs bestimmt wird,
10 bezeichnet,

und bei dem
ein dritter Bereich bestimmt wird durch das Intervall

15
$$\text{BEW} \in [\mu + \alpha_2 \cdot \sigma; \infty],$$

wobei der dritte Bereich die Fälschungen umfaßt.

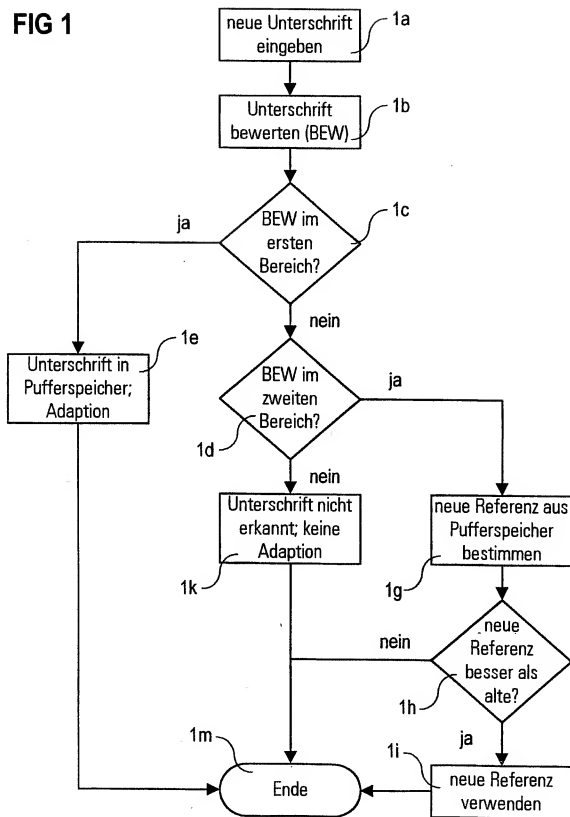
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
20 bei dem der Eingabedatensatz, der in einem vierten
Bereich zwischen dem zweiten und dem dritten Bereich mit
vorgebbaren Schwellwerten liegt, als Originaldatensatz
erkannt wird, weiterhin der Referenzdatensatz aber
nicht verändert wird.

25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Datensätze Unterschriften sind, die
elektronisch aufgenommen und abgespeichert werden und die
eine vorgebbare Menge von Kenngrößen umfassen.

30

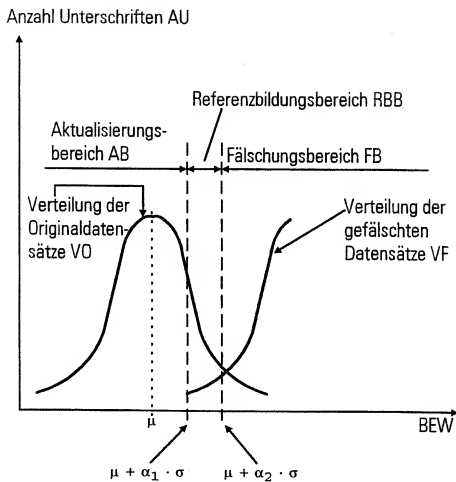
1/3

FIG 1



2/3

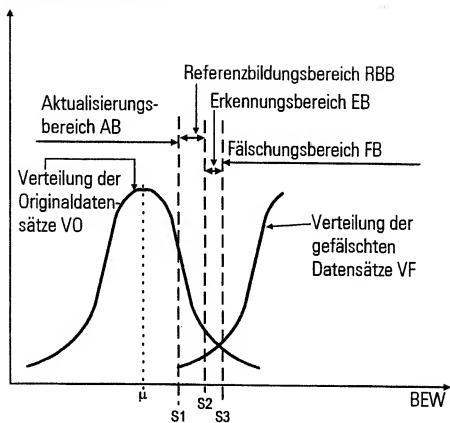
FIG 2



3/3

FIG 3

Anzahl Unterschriften AU



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. l. Application No

PCT/DE 98/01051

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G06K9/66 G07C9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 104 698 A (QUEST AUTOMATION) 9 March 1983 see page 7, line 44 - page 8, line 21	1
A	US 4 724 542 A (WILLIFORD JOHN D) 9 February 1988 see figures 1,2	1
A	US 5 052 043 A (GABORSKI ROGER S) 24 September 1991 see abstract	1
A	ANTHONY N J ET AL: "SUPERVISED ADAPTATION FOR SIGNATURE VERIFICATION SYSTEM" IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, vol. 21, no. 1, June 1978, page 424/425 XP002060376 see the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 October 1998

Date of mailing of the international search report

23/10/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patanilaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sonius, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/01051

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2104698 A	09-03-1983	US 4495644 A	22-01-1985
US 4724542 A	09-02-1988	JP 62177680 A	04-08-1987
US 5052043 A	24-09-1991	EP 0527895 A	24-02-1993
		WO 9117520 A	14-11-1991

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01051

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G06K9/66 G07C9/00

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G06K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB 2 104 698 A (QUEST AUTOMATION) 9. März 1983 siehe Seite 7, Zeile 44 - Seite 8, Zeile 21 ---	1
A	US 4 724 542 A (WILLIFORD JOHN D) 9. Februar 1988 siehe Abbildungen 1,2 ---	1
A	US 5 052 043 A (GABORSKI ROGER S) 24. September 1991 siehe Zusammenfassung ---	1

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

"A" Veröffentlichung, die den eigentlichen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindender Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindender Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* A Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Oktober 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/10/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P. B. 5818 Patentkanal 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sonius, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01051

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	<p>ANTHONY N J ET AL: "SUPERVISED ADAPTATION FOR SIGNATURE VERIFICATION SYSTEM"</p> <p>IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN,</p> <p>Bd. 21, Nr. 1, Juni 1978, Seite 424/425</p> <p>XP002060376</p> <p>siehe das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01051

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2104698 A	09-03-1983	US 4495644 A	22-01-1985
US 4724542 A	09-02-1988	JP 62177680 A	04-08-1987
US 5052043 A	24-09-1991	EP 0527895 A	24-02-1993
		WO 9117520 A	14-11-1991

Formblatt PCT/SA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
23 October 2003 (23.10.2003)

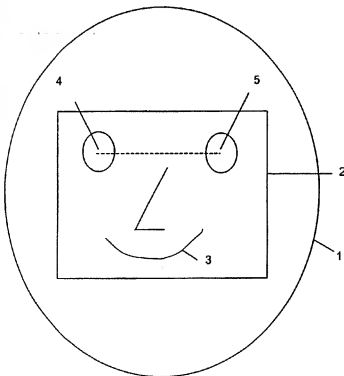
PCT

(10) International Publication Number
WO 03/088132 A1

- (51) International Patent Classification: **G06K 9/00**, 9/32, 9/46
- (21) International Application Number: PCT/SG02/00060
- (22) International Filing Date: 12 April 2002 (12.04.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (71) Applicant (for all designated States except US): **KENT RIDGE DIGITAL LABS [SG/SG]**; 21 Heng Mui Keng Terrace, Singapore 119613 (SG).
- (72) Inventor; and
- (75) Inventor/Applicant (for US only): **MARIANI, Roberto** [FR/SG]; Spanish Village, Farrer Road, Block 56 #01-05, Singapore 246688 (SG).
- (74) Agent: **AXIS INTELLECTUAL CAPITAL PTE LTD**; 21A Duxton Road, Singapore 089487 (SG).
- (81) Designated States (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published:**
— with international search report
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*

(54) Title: **ROBUST FACE REGISTRATION VIA MULTIPLE FACE PROTOTYPES SYNTHESIS**

(57) **Abstract:** A face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of the actual face is captured and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein the face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.



WO 03/088132 A1

ROBUST FACE REGISTRATION VIA MULTIPLE FACE PROTOTYPES**SYNTHESIS****5 FIELD OF THE INVENTION**

The present invention is generally directed towards face recognition and face verification systems and in particular towards a facial prototype synthesis system able to generate realistic templates and provides a more robust system for registering a face.

10

BACKGROUND OF THE INVENTION

The classical face recognition approach is to store an image of a person's face, and then to provide a face matching algorithm robust enough to handle varying lighting conditions, facial expressions, face directions, glasses, beard, 15 mustache and facial hair, etc.

In the area of face recognition technology, research has focused almost entirely on developing algorithms that are invariant to the lighting conditions, the facial expressions and the face direction. Such systems obtain simple databases 20 at the expense of complex matching algorithms or family of algorithms. Alternatively, the face recognition systems based on face template matching and neural networks, require a large number of face samples to train the network to an acceptable standard. The operations that are applied to train neural networks are mainly of linear geometric nature, such as scaling or zooming.

25

The problems of these techniques is their weakness in dealing with various lighting conditions, changes of expression as well as time difference between the registration and the time of the observation.

30 For example, WO 99/53427 provides a technique for detecting and recognizing an object in an image frame. The object identification and recognition process uses an image processing technique based on model graphs and bunch

graphs that efficiently represent image features as jets. The jets are composed of wavelet transforms and are processed at nodes or landmark locations on an image corresponding to readily identifiable features. The authors thus propose a face representation based on a set of feature points extracted from the face
5 images. Face recognition is then realised using a deformable graph matching technique.

WO 98/37507 discloses that to automatically recognize the face of a person in real time or on the basis of a photo document, a digital image of a side
10 view of the head is produced and a profile curve determined by linear extraction. From the profile curve a strongly reduced quantity of data is generated by evaluation algorithms to serve as a model of the person concerned. This allows for especially simple biometric face identification requiring minimum memory space for the model code.

15

In general, attempts to improve face recognition have resulted in various methods and algorithms to extract features and compare features with data stored on a database. However, various conditions and circumstances can still lead to less desirable results, and thus an alternative approach is required to
20 improve face recognition.

OBJECT OF THE INVENTION

It is therefore an object of the invention to develop a more robust system that is capable of handling changing conditions such as lighting and facial
25 orientation. In particular it is an object to provide a more robust registration process for such a system.

It is a further object to provide a face synthesis system that is able to generate realistic templates taking into account changing conditions.

30

SUMMARY OF THE INVENTION

With the above objects in mind the present invention provides in one aspect a face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of the actual face is captured
5 and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein the face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.

The face prototypes may represent possible appearances of the actual
10 face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.

In a further aspect the present invention provides a facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual face is synthesized to
15 create a plurality of face prototypes, said face prototypes representing possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors, and wherein said face prototypes are stored for later use.

20 In the preferred embodiment the system normalises the captured image such that the eyes are a fixed distance apart and on a horizontal plane. The system may only synthesize the area of the face bounded by the eyebrows and mouth on the assumption that other features such as hair do not significantly alter for recognition and verification purposes. The synthesis may include
25 consideration of alternate eye positions and applying masks to account for changing conditions and errors.

BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

Figure 1 shows the area of the face analysed in the preferred embodiment.
30

Figure 2 shows possible eye positions.

Figure 3 shows the use of geometric masks.

Figure 4 shows the use of optical flow approximations.

5 Figure 5 shows the use of exponential and logarithmic functions.

Figure 6 shows an example function for use with a vertical shadow mask.

Figure 7 shows the use of shadow filters.

10

Figure 8 shows an example of manual lighting masks.

Figure 9 shows an example of registering a user in accordance with the preferred embodiment of the present invention.

15

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENT

As it can be difficult to achieve accurate face recognition due to factors such as changing lighting conditions, the present invention proposes a method or system which relies on a more intensive registration process.

20

Most existing systems will capture an image of a person, and store that image for later comparison. In the present invention, during the registration of a person's face, the system automatically synthesizes a multitude of face prototypes, by creating artificial lighting conditions, artificial face morphing and by
25 modeling the errors of a face location system, especially in the eyes detection process. These face prototypes represent the possible appearances of the initial face under various lighting conditions, various expressions and various face orientations, and under various errors of the face location system. The system obtains for each face, a set of faces that spans the possible appearances the face
30 may have.

Having generated this multitude of face prototypes, data analysis can be applied, like dimensionality reduction (principal components analysis), feature extraction, automatic clustering, self-organising map. The design of a face recognition system based on these face prototypes can also be achieved. Face recognition systems based on face templates (pca) and/or feature vectors (gabor wavelet) may be applied, and they may also use these face clusters for training.

Considering now an example and referring to the figures. Given an image of a person's face and given the position of the two eyes (4, 5), the preferred system first normalizes the image by setting the two eyes (4, 5) on a horizontal plane and at a fixed distance apart, for example 50 pixels. This operation can be realized by a change of scale and rotation. Once the normalized image is created, the system selects the part of the face that is very stable across time, that is the system does not consider the part of the face above the eyebrows and below the mouth 3. That is, the system considers only the part of the face 1 within the box 2 shown in figure 1. Alternatively, other face location systems, may provide the 'face center', from which an estimate of the eyes position can be derived according to human anthropomorphic measures.

Using an existing face location system, it is likely that the eyes' position are imprecise. To propose a robust face encoding system, the present system assumes an error position of the eyes, and for each couple of eyes' positions, the system crops the face accordingly. In practice, the system preferably uses five possible positions per eye, leading to 25 cropped images, as illustrated in Figure 2. Of course, this number can be changed. By nature, this technique encodes rotation, translation and change of scales, as the scale factor is affected by the distance between the two eyes, and the rotation factor is affected by the angle of the two eyes with the horizontal line. In Figure 2, the dots 6 are the eyes detected by the system and the dots 7 are the other possible eyes' positions considered for the registration.

The circle 8 shows the surface error that describes the probable real position of the eye. Any point in this circle could be the real eye center. The ray of the surface error is fixed automatically by the system and depends on the interocular distance between the calculated position of both eyes. For example, 5 for 50 pixels eyes distance, we may say that the eye position is precise at ± 5 pixels.

On each of these cropped and normalized images, the system applies predefined 2D lighting masks and predefined 2D warping or morphing masks and 10 obtains a multitude of face prototypes that are likely to appear during the face location. The system preferably uses three families of lighting masks and 25 families of warping masks although varying numbers can be used. Any number of lighting and warping masks could be used, for example desirable results are being obtained using 16 lighting masks.

15

The system has two kinds of operations that are applied to an input image of a person in order to obtain an output image for storage. Namely, the photometric modification and/or the geometric modification of the image. The photometric modification changes the grey level or the color of a pixel, and the 20 geometric modification modifies the position of this pixel.

The photometric transform can be encoded into the lighting masks and the geometric transform can be encoded into the morphing masks.

25 The geometric masks can be estimated by various ways, such as manually, semi-automatic or by optical flow estimation between two images. The optical flow estimation is a fully automatic technique exemplified in Figures 3 and 4.

30 The first row of Figure 3 has three original images, and the last row shows the three generated frontal face images obtained using geometric masks. Here the masks are tuned to generate frontal faces.

In the same way, the first row of Figure 4 contains five input images, the second row contains an approximation of the optical flow between each face and its vertical mirror, and the last row contains an approximation of the frontal face, good enough for a robust face recognition.

Here, we describe five photometric masks. Any number can be generated, but in testing these have proved to be very good for robust face registration, as they approximate real lighting conditions.

10

These preferred marks are:

- i) Logarithmic function on grey-level; which obtains brighter images;
- ii) Exponential stretch on the function; which obtains darker images;
- 15 iii) Vertical shadow that creates vertical half-shadowed faces;
- iv) Horizontal shadow that creates horizontal half-shadowed faces; and
- 20 v) By differentiating images captured from the camera during the masks settings.

If we consider an input image with grey levels ranging from 0 to 1 after a standard grey level normalization process of the form $(v-vmin)/(vmax-vmin)$, where vmin and vmax are respectively the minimum and maximum grey level values of the image, then each of the preferred masks may be described as follows:

Logarithmic function

Let $[Kmin, 255]$ such that $255 > Kmin > 0$. The system builds the lookup table that contains $256-Kmin$ entries by computing:

30

$$LOGLUT[w] = (\log(w) + Kmin) - \log(Kmin) / (\log(255) - \log(Kmin)),$$

For $w = Kmin, \dots, 255$. The lookup table values are all ranging from 0 to 1. Given the value v of a pixel ranging between 0 and 1, the system

obtains the new grey level value w by $w = \text{LOGLUT}[(255 - K_{\min}) * v + K_{\min}]$; w ranges between 0 and 1 and can use other operators.

Exponential function

- 5 The system builds the lookup table that contains 256 entries by computing:

$$\text{EXPLUT}[w] = (\exp(K_{\max} * w / 255.0) - 1) / (\exp(K_{\max}) - 1)$$

For $w = 0, \dots, 255$. The lookup table values are all ranging from 0 to 1.

- Given the value v of a pixel ranging between 0 and 1, the system obtains
 10 the new grey level value w by $w = \text{EXPLUT}[255 * v]$; w ranges between 0 and 1 and we can use other operators.

Figure 5 shows the input image and the image after applying the exponential function with $K_{\max}=4$, and the input image and the image after
 15 applying the logarithmic function with $K_{\min}=32$. The system could generate an infinite number of such images by making varying K_{\min} and K_{\max} .

Vertical shadow/ Horizontal shadow

- As the two processes are identical, we describe only the vertical shadow
 20 process for the abscissas x . This function creates a modification of the grey level of a pixel depending on its spatial position in the image. Here we apply it line by line. An infinite number of functions can be used. For the sake of simplicity, we describe one function. Let X be the width of the Image, and let $0 < \lambda < 1$ real coefficient, and let $m = \lambda * X$. We define the following function $f(x)$, depending on the
 25 value of $x \in [0, X]$:

$$F(x) = x / m \text{ if } x \in [0, m]$$

$$F(x) = 1 + (x - m) / (X - m) \text{ if } x \in [m, X].$$

- Such a function can be seen in Figure 6. Here $X=200$ and $\lambda=0.2$. For a
 30 given abscissa x , $F(x)$ is a coefficient that varies between $[0, 2]$.

Given a pixel $p=(x,y)$ with a grey level v , the system obtains in the output image a pixel $q=(x,y)$ with a grey level computed $w=v \cdot F(x)$. Thus, the m first pixels will become darker, the first one at position 0, totally dark, the m th pixel will be unaffected (in Figure 6, the 40th pixel $200 \cdot 0.2 = 40$), and the pixels at abscissa 5 greater than m will become brighter. Figure 7 illustrates the process with 5 different shadow filters, from the left original image.

The horizontal process applies to the ordinate y , and uses the height of the image Y , in exactly the same manner.

10

2D masks as combination of two 1D masks.

Here we define a mask F such that $F(x,y) = F_x(x) \cdot F_y(y)$. For each pixel $p=(x,y)$ with grey level v , we obtain the new grey level $w=v \cdot F(x,y)$.

15 2D masks.

These masks are a generalization of the previous mono-dimensional masks, and a coefficient is defined for each pixel $F(x,y)$. The system then obtains a 2D mask that modifies the value v of the pixel $p=(x,y)$, in $w = v \cdot F(x,y)$. These masks can be built manually, by capturing several identical images and by changing the lighting conditions of the room during the image capture. In such a case, if we define the neutral image as I , and all the other images as I_1, I_2, \dots, I_N , the system derives N masks by differentiating I with I_1, I_2, \dots, I_N ; and we obtain $F_1 = I - I_1, F_2 = I - I_2, \dots, F_N = I - I_N$. Thus, we modify the value of the pixel $p = (x,y)$, in $w = v \cdot F(x,y)$. Figure 8 illustrates a face capture where the light varies to set up 20 manual lighting masks, by differentiating with the first image. Once again, these masks can be normalized between 0 and 1.

Filter cascading

A synthetic prototype can be obtained by applying several masks to the original normalized image. Let I be the original normalized image, $F=\{F_1, F_2, \dots, F_N\}$ the set of successive masks, and O the obtained synthetic prototype. We have $O = F_N(\dots F_2(F_1(I))\dots)$. In some specific cases, we may have $F_N(\dots F_2(F_1(I))\dots) =$

$F_n(\dots F_2(F_1))(I) = M(I)$, leading to a much more efficient computation, as the mask $M = F_n(\dots F_2(F_1)\dots)$ can be estimated in advance by a combination of masks.

Figure 9 illustrates images obtained during the registration of a user. In this example the preferred system took the 5 leftmost (first column) images to register robustly this person, at a resolution of 15x15 pixels. The grey levels intensity of each image have been re-normalized between 0 and 255.

This set of generated faces could be used in any application using faces as if it was produced online by any camera or video input devices. For example, it can be used in face recognition, face verification, face feature extraction, face retrieval, video conferencing systems, neural network or auto-associative memory training, etc.

By storing multiple possible appearances of the same face, the system increases the probability of retrieving the correct face across lighting conditions, expressions and face directions. The system therefore compensates for the weaknesses of previous methods although does obtain a more complex database.

The system does increase the probability of confusion with another face, but experiments have shown that the best match between two identical persons is statistically higher than the best match between two different persons. As these transforms are applied identically to all the faces, all are penalized or favored in the same way, which is enough to justify this experimental fact. In other words, it is more likely that the registration transforms the face into a future observed face of the same person, than it transforms someone else's face into this future observed face.

The system extends the representations to non-linear geometric transformations and non-linear photometric transformations, to synthesize realistic face prototypes. This is equivalent to an expansion of the training set for

a better generalization of the neural network. The key of this robust registration is to apply allowable transformation to the face image, using face morphing and applying synthesized lighting conditions that approach reality. These transformations are applied to a face for which the eyes coordinates are already known. Another key issue is that the registration process considers errors in the positioning of the eyes that are due to the eyes detection algorithm.

Given a face image and the two eyes positions, the present system is able to synthesize realistic faces from a single face, to provide a robust registration which in turn leads to a robust face recognition/verification algorithm. The consideration of errors in eyes detection, the synthesize of the lighting effects, as well as the face morphing can use pre-registered masks. Their combination allows the creation of a multitude of synthetic faces that are likely to be encountered during the future face recognition tasks.

15

The subsequent face retrieval algorithm can be straightforward, as the registration process has undertaken most of the difficulties.

The invention has been particularly described with reference to face recognition systems to assist in the understanding of the invention. However, the present invention proposes a way to generate artificial and likely face prototypes from a single face, by creating artificial light effects, artificial face direction and by modeling the localization errors of a face location system, for the purpose of robust face feature extraction or robust face registration. That is the present invention is a facial prototype synthesis system, that generates automatically realistic templates from a single image and not merely a face recognition system. Lighting conditions masks, warping masks and eyes position errors are used to achieve a robust face generation.

30 Apart from improving face recognition systems the present invention could also be used to improve current face recognition and face verification systems, by transforming and expanding the existing databases containing the faces of the

people, automatically, without recapturing all the photos, under all the face directions, all the lighting conditions, all the scales and rotations.

The present invention therefore proposes a way to generate artificial and
5 likely face prototypes from a single face, by creating artificial light effects, artificial face direction and by modeling the localization errors of a face location system, for the purpose of robust face feature extraction or robust face registration.

Whilst the method and system of the present invention has been
10 summarised and explained by illustrative example it will be appreciated by those skilled in the art that many widely varying embodiments and applications are within the teaching and scope of the present invention, and that the examples presented herein are by way of illustration only and should not be construed as limiting the scope of this invention.

CLAIMS:

1. A face recognition and/or verification system including the step of registering a persons actual face wherein an image of said actual face is captured
5 and synthesized to create a plurality of face prototypes, and wherein said face prototypes are stored for later analysis and comparison with a captured image to be recognised or verified.
2. The system as claimed in claim 1 wherein said face prototypes represent
10 possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.
3. The system as claimed in claim 1, wherein comparison of said face
15 prototypes and captured image uses a face matching algorithm.
4. The system as claimed in claim 1, wherein comparison of said face
prototypes and captured image uses face templates or feature vectors.
5. The system as claimed in any preceding claim, wherein synthesizing of
20 said actual face includes normalising said actual face image.
6. The system as claimed in claim 5, wherein normalising includes rotating
said actual face image to bring eyes of said actual face image to a horizontal
25 plane.
7. The system as claimed in claim 5 or claim 6, wherein normalising includes
scaling said actual face image such that the eyes are a fixed distance apart.
8. The system as claimed in claim 7, wherein said eyes are fixed at 50 pixels
30 apart.

9. The system as claimed in any preceding claim wherein the area above the persons eyebrows and below the persons mouth is not synthesized.
10. The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of said actual face includes determining alternative positions for each eye so as to compensate for possible errors.
11. The system as claimed in claim 10, wherein five alternative positions are determined for each eye.
- 10 12. The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of said actual face includes applying at least one predefined lighting mask to said actual face image.
- 15 13. The system as claimed in claim 12, wherein three to 16 predefined lighting masks are used.
14. The system as claimed in any preceding claim wherein synthesizing of said actual face includes applying at least one predefined warping mask to said actual face image.
- 20 15. The system as claimed in claim 14, wherein 25 predefined warping masks are used.
- 25 16. The system as claimed in claim 12 or claim 13, wherein said at least one lighting mask includes photometric transform.
17. The system as claimed in claim 14 or claim 15, wherein said at least one warping mask includes geometric transform.
- 30 18. The system as claimed in claim 17, wherein said geometric transform is estimated using optical flow estimation.

19. The system as claimed in claim 16, wherein said photometric transform includes at least one of:

- algorithmic function, exponential stretch, vertical shadow, horizontal
5 shadow and differentiating image.

20. A facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual face is used to create a plurality of face prototypes, said face prototypes representing possible appearances of said actual face under various lighting
10 conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors, and wherein said face prototypes are stored for later use

21. The system as claimed in claim 20, wherein said actual face image is normalized prior to creating said face prototypes.

15

22. The system as claimed in claim 21, wherein normalising includes rotating said actual face image to bring eyes of said actual face image to a horizontal plane.

- 20 23. The system as claimed in claim 21 or claim 22, wherein normalising includes scaling said actual face image such that the eyes are a fixed distance apart.

24. The system as claimed in claim 23, wherein said eyes are fixed at 50
25 pixels apart.

25. The system as claimed in any one of claims 20 to 24, wherein the area above the persons eyebrows and below the persons mouth is not synthesized.

- 30 26. The system as claimed in any one of claims 20 to 25, wherein to create said face prototypes said system determines alternative positions for each eye so as to compensate for possible errors.

27. The system as claimed in claim 26, wherein five alternative positions are determined for each eye.
- 5 28. The system as claimed in any one of claims 20 to 27 wherein to create said face prototypes said system applies at least one predefined lighting mask to said actual face image.
29. The system as claimed in claim 28, wherein three to 16 predefined lighting
10 masks are used.
30. The system as claimed in one of claims 20 to 29 wherein to create said face prototypes said system applies at least one predefined warping mask to said actual face image.
- 15 31. The system as claimed in claim 30, wherein 25 predefined warping masks are used.
32. The system as claimed in claim 28 or claim 29, wherein said at least one
20 lighting mask includes photometric transform.
33. The system as claimed in claim 30 or claim 31, wherein said at least one warping mask includes geometric transform.
- 25 34. The system as claimed in claim 33, wherein said geometric transform is estimated using optical flow estimation.
35. The system as claimed in claim 32, wherein said photometric transform includes at least one of:
30 algorithmic function, exponential stretch, vertical shadow, horizontal shadow and differentiating image.

36. The system as claimed in claim 20, wherein said face prototypes are generated by applying photometric and/or geometric transforms to said image.

37. A facial prototype synthesis system wherein an image of a persons actual
5 face is normalised and synthesized by determining possible alternative eye positions and applying at least one mask to said image to create a plurality of face prototypes, and wherein said face prototypes represent possible appearances of said actual face under various lighting conditions, varying facial expressions, varying facial orientations, and/or modeling errors.

10

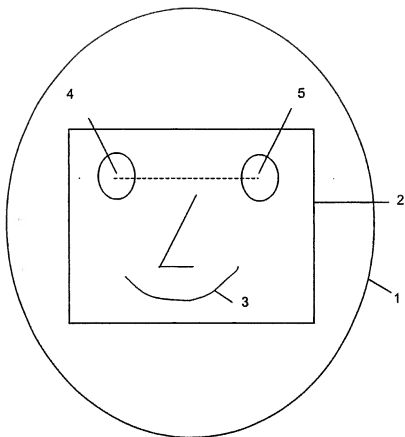


Figure 1

2/5

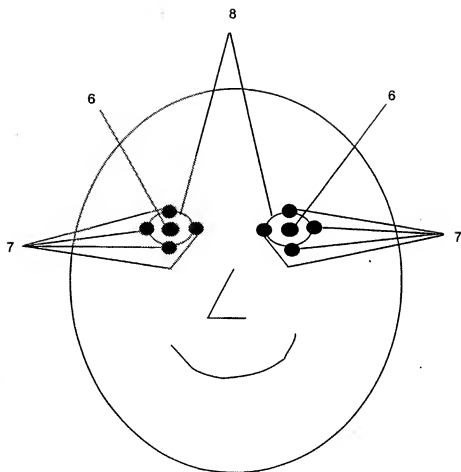


Figure 2

3/5



Figure 3

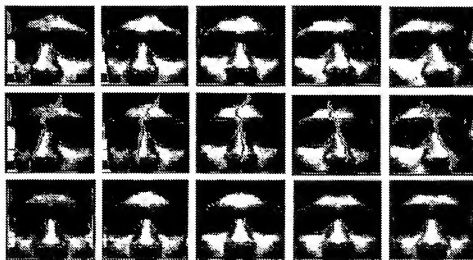


Figure 4

4/5



Figure 5

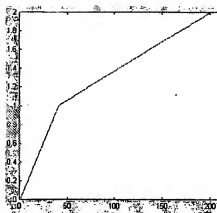


Figure 6



Figure 7

5/5

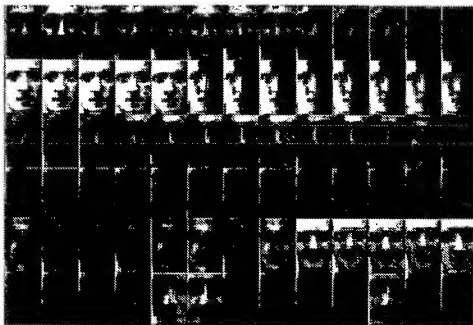


Figure 8



Figure 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal application No.
PCT/SG 02/00060

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC⁷: G06K 9/00; G06K 9/32; G06K 9/46

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC⁷: G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Wpi, epodoc, paj

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0806739 A (Lucent) 12 November 1997 (12.11.97) <i>claim 1, summary, fig. 1-3.</i>	1-7,20-27,37
A	US 6072894 A (Payne) 6 June 2000 (06.06.00) <i>claims 9,10,17; fig. 3,5,6.</i>	1,20,37
A	US 6345109 B1 (Nagao) 5 February 2002 (05.02.02) <i>claims 1-3.</i>	1,20,37
A	US 5991429 A (Ingram Darley) 23 November 1999 (23.11.99) <i>claims 2-5; fig. 1-8.</i>	1,20,37

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

..A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

..E* earlier application or patent but published on or after the international filing date

..L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

..O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

..P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

..T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

..X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

..Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

..Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 May 2002 (17.05.2002)

Date of mailing of the international search report

18 June 2002 (18.06.2002)

Name and mailing address of the ISA/AT
Austrian Patent Office
Kohlmarkt 8-10; A-1014 Vienna
Facsimile No. 1/53424/535

Authorized officer

MIHATSEK

Telephone No. 1/53424/329

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SG 02/00060-0

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)		Publication date	
EP	A1	6739	09-01-1980	AR	A1	219611	29-08-1980
EP	B1	6739	13-10-1982	AT	E	1636	15-10-1982
				AU	A1	48321/79	03-01-1980
				AU	B2	524976	14-10-1982
				BR	A	7903951	04-03-1980
				CA	A1	1118357	16-02-1982
				DE	A1	2925087	10-01-1980
				DE	C0	2963843	18-11-1982
				DK	A	2632/79	24-12-1979
				DK	B	156695	25-09-1989
				DK	C	156695	05-02-1990
				ES	A1	481841	16-06-1980
				ES	A5	481841	15-07-1980
				FI	A	791997	24-12-1979
				FI	B	72427	27-02-1987
				FI	C	72427	08-06-1987
				FR	A1	2429016	18-01-1980
				FR	B1	2429016	06-01-1984
				GB	A1	2027419	20-02-1980
				GB	B2	2027419	28-07-1982
				IE	B	48159	17-10-1984
				IN	A	151014	12-02-1983
				JP	A2	55002699	10-01-1980
				JP	B4	62054767	17-11-1987
				NL	A	7904859	28-12-1979
				NO	A	792103	28-12-1979
				NO	B	155376	15-12-1986
				NO	C	155376	25-03-1987
				NZ	A	190824	27-04-1984
				PH	A	15845	08-04-1983
				US	A	4359456	16-11-1982
				ZA	A	7903122	25-02-1981
				AT	A	109/77	15-02-1983
				AT	B	372278	26-09-1983
				AU	A1	21205/77	20-07-1978
				AU	B2	514801	26-02-1981
				CA	A1	1115930	12-01-1982
				CH	A	638097	15-09-1983
				GB	A	1568831	04-06-1980
				IT	A	1116608	10-02-1986
				NZ	A	183032	06-07-1984
				PH	A	14185	26-03-1981
				PH	A	15188	10-09-1982
US	A	5991429	23-11-1999	AU	A1	54635/98	29-06-1998
				WO	A1	9825229	11-06-1998
US	A	6072894	06-06-2000			none	
US	BA	6345109	05-02-2002	JP	A2	10171988	26-06-1998
				JP	A2	10228543	25-08-1998